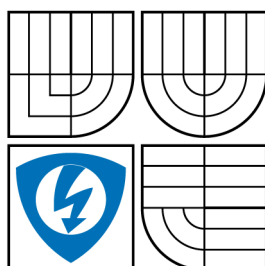


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘÍCÍ TECHNIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION**

SLEDOVÁNÍ POHYBUJÍCÍCH SE OBJEKTŮ MOVING OBJECT TRACKING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

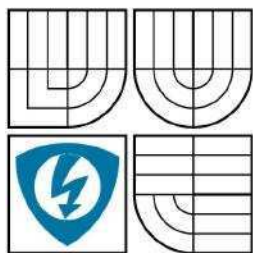
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FRANTIŠEK BRADÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILOSLAV RICHTER Ph.D

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: František Bradáč
Ročník: 3

ID: 98256
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Sledování pohybujících se objektů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte metody pro nalezení objektů v zorném poli kamery. Vytvořte metody pro predikci polohy těchto objektů v následujících snímcích a zaznamenejte jejich trajektorie. Zohledněte případ, kdy je pevná kamera a pohybující se objekty. Zhodnoťte výsledky a popište kritické situace z hlediska detekce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Kraus K.: Photogrammetrie 1 und 2, Ummeler / Bonn, 1996

Žára J., Beneš B., Sochor J., Felkel P.: Moderní počítačová grafika, Computer Press, 1998, ISBN 80-251-0454-0

Hlaváč V., Šonka M.: Počítačové vidění, Grada, Praha 1992, ISBN 80-85424-67-3

Faugeras O.: Three-Dimensional Computer Vision, The MIT Press 1993

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Richter, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt:

Předmětem této semestrální práce je nalezení a implementace metod pro detekci objektů v zorném poli kamery, zaznamenání jejich trajektorie a predikce jejich polohy. Vytvořené metody jsou kombinací několika přístupů k řešení problému. Nejprve se tvoří co nejpravděpodobnější model statické části pozorované scény, který je posléze použit pro detekci pohybujících se objektů. Sesouhlasení objektů je provedeno pomocí analýzy pohybu těchto objektů. K analýze pohybu je využita metoda optického toku. Predikce následující polohy objektů je prováděna pomocí Kalmanova filtru. Vytvořené metody jsou za vhodných podmínek schopny sledovat trajektorie pohyblivých objektů v zorném poli kamery a to i v případě, že se tyto objekty těsně míjejí, případně dojde k jejich kolizi. Metody jsou implementovány v jazyce C++ a jejich funkčnost je odzkoušena na pokusném vzorku s nasnímanou pohyblivou scénou.

Klíčová slova:

Pohyblivý objekt, scéna, statická část scény, oblast, aktuální snímek scény, rozdílový binární snímek, posloupnost obrazů, sesouhlasení, obrazová funkce, pohyb, optický tok, významné body, Kalmanův filtr,

Abstract:

The thesis deals with founding and tracking of moving objects inside of visual field and prediction of their future position. The created methods combine few approaches for solution this problem. First, the most probable of the static part of the observed scene is created. Then this model is used to detect moving objects. The correspondence of objects between two consecutive pictures is performed by analyzing of motion of these objects. For analyzing of motion of the objects optical flow is used. Prediction of the future position is performed by Kalman filter. Providing suitable condition these methods are able to track the moving objects even if these objects are passing closely or colliding. The methods are implemented in language C++ and their functionality was verified by sample with scanned non static scene.

Key words:

Moving object, scene, static part of scene, field, actually scene picture, differential binary mage, sequence of images, correspondence, image function, motion, optical flow, significant points, Kalman filter,

Bibliografická citace

BRADÁČ, František. *Sledování pohybujících se objektů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. Vedoucí práce Ing. Miloslav Richter Ph.D.

P r o h l á š e n í

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma sledování pohybujících se objektů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne : 1. června 2009

.....

podpis autora

P o d ě k o v á n í

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Miloslavu Richterovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Ve Velkém Meziříčí dne : 11.1.2009

.....

podpis autora

1. ÚVOD	10
2. OBECNÉ METODY PRO ANALÝZU POHYBU	12
2.1 Cíle analýzy pohybu	12
2.2 Typy úloh	12
2.2.1 Detekce pohybu	12
2.2.2 Lokalizace a popis pohybujících se objektů, predikce jejich polohy	12
2.2.3 Stanovení trojrozměrných vlastností objektů	13
2.3 Metody analýzy pohybu	13
2.3.1 Rozdílové metody analýzy objektu	13
2.3.2 Optický tok	15
2.3.3 Analýza pohybu na základě detekce významných bodů	16
2.4 Sesouhlasení objektů	17
2.4.1 Popis situací, které mohou nastat na pozorované scéně	17
2.4.2 Vlastnosti objektů používané k jejich sesouhlasení	18
3. POPIS POUŽITÝCH METOD PRO NALEZENÍ OBJEKTU V OBRAZE, NALEZENÍ JEHO TRAJEKTORIE A PREDIKCE JEHO POLOHY	19
3.1 Detekce pohybujících se objektů v zorném poli kamery a zjištění jejich polohy	19
3.1.1 Vytvoření modelu statické části pozorované scény - pozadí	19
3.1.2 Extrakce pohybujících se objektů a určení jejich polohy	21
3.1.3 Výhody extrakce objektů pomocí modelu statické části pozorované scény	22
3.1.4 Omezující předpoklady při extrakci objektů pomocí modelu statické části pozorované scény	22
3.2 Použití optického toku pro nalezení korespondence významných bodů pohybujících se objektů	25
3.2.1 Použitý způsob výpočtu optického toku	25
3.2.2 Praktické problémy při výpočtu optického toku v souvislosti s použitým snímacím zařízením	29
3.3 Použití Kalmanova filtru pro predikci polohy pohybujících se objektů	30
3.4 Řešení sesouhlasení objektů	33

4. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	40
5. ZÁVĚR	41
6. POUŽITÁ LITERATURA	43
7. SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	44
8. SEZNAM PŘÍLOH	45

1. ÚVOD

Jednou z oblastí zájmu počítačového vidění je analýza pohybu. Tato oblast zahrnuje rozsáhlou množinu řešených úloh, které sahají od pouhé detekce pohybu až po sledování pohyblivých objektů a stanovení jejich vlastností v třírozměrném prostoru. Využití těchto úloh v praxi je reprezentováno například kamerovými zabezpečovacími systémy, analýzou dopravní situace ve městech, sledováním hráčů při fotbalovém utkání, vojenskými zaměřovacími systémy, zpracováním dat ze snímacích zařízení nebo využitím v lékařství při automatické analýze preparátů pod mikroskopem.

V této bakalářské práci jsem se zaměřil na nalezení metod pro detekci pohyblivých objektů, nalezení jejich trajektorie v sekvenci po sobě jdoucích snímků a predikci jejich polohy v následujících snímcích. O pohybujících objektech nejsou k dispozici žádné apriorní znalosti. Zадáním bakalářské práce bylo řešit tuto úlohu pro konfiguraci pevná kamera – pohyblivé objekty.

Zadanou úlohu řeším pomocí obecných metod pro analýzu pohybu. Vzhledem k nedostupnosti jakýchkoliv apriorních znalostí o pohyblivých objektech jsem se rozhodl využívat pro detekci pohyblivých objektů model statické části pozorované scény, který však také není znám dopředu, ale je vytvořen během pozorování. Pro analýzu pohybu jednotlivých objektů využívám optický tok, který zajišťuje získání nejkomplexnějších informací o aktuálním pohybu daného objektu. Pro sesouhlasení objektů – přiřazení trajektorie objektům – používám rozhodovací matici, která je schopna vyrovnat se s proměnným počtem objektů během snímání, jejich zmizením ze zorného pole kamery, jejich velmi těsným míjením, případně kolizí. Predikce polohy objektů v následujících snímcích je prováděna pomocí Kalmanova filtru, který je vhodný pro svůj rekurzivní charakter a také pro to, že dává informaci o velikosti nedůvěry v predikovanou polohu.

Vytvořené algoritmy jsou ověřeny na pokusných vzorcích několika nasnímaných scén s pohyblivými objekty. Tyto scény nebyly vytvořeny v laboratorních podmínkách, přesto však při jejich snímání byly dodrženy určité

předpoklady. Je třeba říci, že pokud by tyto předpoklady dodrženy nebyly, vytvořené metody by pracovaly nepřesně, případně by nepracovaly vůbec.

Vlastní text bakalářské práce se skládá ze tří částí. V první části jsou nejprve velmi stručně představeny obecné metody pro analýzu dynamických obrazů a obecné informace týkající se sesouhlasení objektů. Ve druhé části jsou podrobněji popsány ty metody, které ve svém programu používám, přičemž jsou uvedeny také nevýhody a problémy při použití těchto metod. V poslední části jsou pak uvedeny výsledky použití těchto metod na nasnímaných pokusných vzorcích.

2. OBECNÉ METODY PRO ANALÝZU POHYBU

2.1 CÍLE ANALÝZY POHYBU

Analýza pohybu má dva komplementárně spojené cíle:

- Detekovat smysluplný pohyb.
- Vyhnout se falešné detekci pohybu.

2.2 TYPY ÚLOH

Analýza pohybu zahrnuje z hlediska praxe tři hlavní typy úloh:

1. Detekce pohybu
2. Lokalizace a popis pohybujících se objektů, predikce jejich polohy
3. Stanovení trojrozměrných vlastností objektů

2.2.1 Detekce pohybu

Jde o nejjednodušší úlohu zpracování dynamických obrazů. Jedná se o prosté zjištění pohybu v obraze. Praktické využití této úlohy představuje například optický hlídač použitý k střežení různých objektů. Tato skupina úloh obvykle pracuje s neměnnou polohou snímání.

2.2.2 Lokalizace a popis pohybujících se objektů, predikce jejich polohy

Tato úloha je složitější než předchozí. Cílem je rozpoznat v obraze pohybující se objekty, nalézt jejich polohu a trajektorii a predikovat jejich polohu. K tomu jsou zpravidla užívány postupy srovnávání. Tyto vycházejí buď přímo ze srovnávání v obrazových datech, z nalezení významných bodů pohybujících se objektů a hledání jejich vzájemné korespondence, nebo z grafové reprezentace objektů v každém obraze a na postupech srovnávání grafů. Praktické využití této skupiny úloh představuje například analýza dopravních situací v městském provozu, sběr informací o jednotlivých hráčích při fotbalovém utkání apod.

2.2.3 Stanovení trojrozměrných vlastností objektů

Cílem těchto úloh je nalezení geometrických vlastností tělesa v třídimenzionálním prostoru s využitím jejich dvojrozměrných projekcí získaných v různých časových okamžicích.

2.3 METODY ANALÝZY POHYBU

Metody analýzy pohybu mohou být buď závislé, nebo nezávislé. Nezávislá analýza pohybu je prováděna bez ohledu na polohu pohybujících se objektů. Dále se dělí na blokově, nebo pixelově orientovanou. Příkladem nezávislé analýzy je využívání optického toku. Závislá analýza je závislá na detekci objektů. Nejprve se detekují významná místa v obraze, nebo místa, kde nastal pohyb. Další zpracování hledá souhlas mezi takto nalezenými oblastmi či body. Příkladem závislé analýzy pohybu je tvorba rychlostního pole, nebo rozdílové metody. U objektově závislé analýzy je výhodné stanovit následující předpoklady:

- Předpoklad maximální rychlosti – oblast výskytu jistého bodu pohybujícího se objektu je určena kruhem o poloměru $v \cdot dt$ se středem v původní pozici bodu, kde v značí předpokládanou maximální rychlost pohybu objektu.
- Předpoklad malého zrychlení – vzhledem k nenulové hmotnosti objektu je změna rychlosti za čas dt malá.
- Předpoklad společného pohybu a pevné shody – tuhá tělesa mají na po sobě jdoucích snímcích stabilní konfiguraci bodů, které se pohybují stejným směrem.

2.3.1 Rozdílové metody analýzy objektu

Umožňují jednoduchou detekci pohybu v obraze. Využívají rozdílu mezi po sobě jdoucími obrazy snímaných stacionární kamerou.

Nechť d je rozdílový binární obraz obrazů f_1 a f_2 , pak hodnota jeho elementu je definována jako:

$$d_{1,2}(i, j) = \begin{cases} 0 \dots |f_1(i, j) - f_2(i, j)| < e \\ 1 \dots \text{jinak} \end{cases} \quad (2.1)$$

kde e je předem určené kladné číslo. Pohyb objektu, jasově odlišného o hodnotu větší než e , od nepohybujícího se pozadí bude tímto postupem detekován.

Prvek rozdílového obrazu $d_{1,2}$ pak nabývá hodnoty 1 z některé z následujících příčin.

- Obrazový element $f_1(i,j)$ byl elementem pohybujícího se objektu a $f_2(i,j)$ byl elementem nepohybujícího se pozadí (nebo naopak).
- Obrazový element $f_1(i,j)$ byl elementem pohybujícího se objektu a $f_2(i,j)$ elementem jiného pohybujícího se objektu.
- Obrazové elementy $f_1(i,j)$ a $f_2(i,j)$ byly elementy téhož pohybujícího se objektu v místech různého jasu.
- Vlivem šumu se v rozdílovém obraze objeví nesprávně detekované elementy s hodnotou 1.

Rozdílovým obrazem je pohyb detekován, není v něm ale zanesena informace o směru pohybu. Toto lze řešit použitím kumulativního obrazu. Hodnota elementu kumulativního rozdílového obrazu pro N snímků je definována jako:

$$d_{akum} = \sum_{l=1}^N w_l |f_1(i, j) - f_l(i, j)| \quad (2.2)$$

kde w_l značí váhové koeficienty označující významnost jednotlivých obrazů v čase.

Velmi výhodné je, pokud máme k dispozici obraz zpracovávané scény, v němž jsou zachyceny jen stacionární objekty, nebo jinak řečeno - pozadí zpracovávané scény. Rozdílový obraz vytvořený z obrazu pozadí a obrazu zachycujícího pohyblivé objekty je tvořen oblastmi, které odpovídají pohyblivým objektům. Lze tedy objekty detekovat, i pokud se zrovna nepohybují. Problém nastává, pokud z různých důvodů nelze získat obraz stacionární referenční scény. Pak je třeba obraz pozadí vytvořit – například tak, že do obrazu pozadí jsou ukládány ty elementy, u kterých nebyl detekován pohyb (např. pomocí rozdílových snímků). Pro zpřesnění je možno uložit více hodnot pro každý element pozadí a následně spočítat jejich průměr. Další problém nastává, pokud se na pozorované scéně mění světelné podmínky – např. na křižovatce během dne. Pak je třeba obraz pozadí aktualizovat.

2.3.2 Optický tok

Optický tok zachycuje všechny změny v obraze za čas dt . Každému bodu obrazu optického toku odpovídá dvojrozměrný vektor rychlosti, který určuje velikost a směr rychlosti pohybu v daném bodě obrazu. Analýzou pomocí optického toku nejsou získány přesné průběhy trajektorií pohybu, ale obecnější vlastnosti pohybu v obraze. Pomocí optického toku lze od sebe dobře odlišit čtyři základní pohyby – translační pohyb v konstantní vzdálenosti, translační pohyb do dálky, rotační pohyb kolem osy pohledu, rotační pohyb kolmý na osu pohledu.

Je třeba podotknout, že optický tok nezachycuje pohyb ve snímané scéně, ale zachycuje pohyb v obraze. Korespondence vypočítaného vektorového pole obrazu se skutečným vektorovým polem snímané scény závisí na vlastnostech pozorované scény a způsobu snímání dané scény. První problém souvisí s tím, pokud danou trojrozměrnou scénu snímáme jediným snímacím zařízením do dvourozměrného obrazu. Pohybu rovnoběžný s osou snímacího zařízení pak má v nasnímaném obraze jiné vektorové pole, než je skutečné vektorové pole ve snímané scéně. Další problém při použití optického toku plyne přímo ze způsobu jeho výpočtu. Výpočet je prováděn pomocí informace o vývoji intenzity v obraze. Optický tok lze tedy s dobrou přesností určit pouze tam, kde je v obraze k dispozici nějaká informace, tedy v místech, kde je gradient intenzity nenulový. Pokud tedy budeme počítat optický tok pro pohybující se objekt s homogenním povrchem, dostaneme vektorové pole odpovídající skutečnému vektorovému poli pouze na hranách objektu, které nejsou rovnoběžné s pohybem objektu.

Pro výpočet optického toku existuje několik metod. Všechny metody vycházejí z předpokladu zachování intenzity.

Dynamický obraz lze popsat jako jasovou funkci polohy a času - $f(x,y,t)$, která určuje jas v místě (x,y) v čase t . Po rozvoji do Taylorovy řady a zanedbání členů vyšších řadů lze hodnotu jasu v blízkém okolí tohoto bodu určit vztahem:

$$f(x+dx, y+dy, t+dt) = f(x, y, t) + \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial t} dt = f_x dx + f_y dy + f_t dt \quad (2.3)$$

Pro nalezení bodu na předchozím snímku platí předpoklad konstantní jasové hodnoty:

$$f(x + dx, y + dy, t + dt) = f(x, y, t) \quad (2.4)$$

Z tohoto vyplývá:

$$-f_t = f_x \frac{dx}{dt} + f_y \frac{dy}{dt} \quad (2.5)$$

Cílem výpočtu je určit rychlost $\mathbf{r} = (dx/dt, dy/dt)^T = (u, v)^T$. Rovnice (2.5) má více než jedno řešení, navíc tento vztah nemusí být vzhledem k přítomnosti šumu v obraze vždy splněn. Z toho důvodu jsou vyžadovány další podmínky, které mají být splněny. Tyto podmínky bývají do výpočtu optického toku zaváděny pomocí chybového výrazu složeného z chybových členů. Cílem výpočtu je pak minimalizovat součet čtvercových chyb těchto členů.

Mezi běžně používané metody patří metody:

- Metoda Horna a Schuncka
- Lucas a Kanade

Algoritmus výpočtu optického toku je výpočetně poměrně náročný, proto se mnohdy počítá v obraze jen tam, kde došlo k pohybu.

2.3.3 Analýza pohybu na základě detekce významných bodů

Tato metoda se používá, pokud časový interval snímání obrazů není možno považovat za velmi malý. Principem této metody je nalezení odpovídajících si bodů v posloupnosti dvou obrazů.

Postup se skládá ze dvou hlavních kroků – nalezení významných bodů v obraze a nalezení korespondence mezi těmito body v posloupnosti obrazů.

Významné body jsou takové, které se co nejvíce liší od svého okolí. Lze je získat některým z hranových operátorů, nebo např. pomocí Moravcova operátoru. Tyto body jsou většinou hledány tam, kde nastal pohyb – což lze zjistit např. pomocí rozdílových metod. Po nalezení těchto bodů v po sobě jdoucích dvou obrazech, jsou sestaveny všechny dvojice potenciálně korespondujících bodů. Vyřazeny jsou ty dvojice bodů, které nesplňují předpoklady o pohybu tuhých těles, např. předpoklad maximální rychlosti. Poté se pro každou dvojici iterativně počítá pravděpodobnost jejich korespondence na základě principu společného pohybu bodů tuhého tělesa. Pokud pro každý významný bod existuje pravděpodobnost korespondence s bodem na druhém obraze, která je značně vyšší než pravděpodobnost korespondence

s ostatními body, je iterační proces ukončen. Na základě nalezených dvojic korespondujících bodů je sestaveno rychlostní pole.

2.4 SESOUHLASENÍ OBJEKTŮ

Cílem sesouhlasení objektů je všem detekovaným objektům přiřadit správnou trajektorii, po níž se pohybují na pozorované scéně v zorném poli kamery. Tato část úlohy přímo určuje úspěšnost řešení celé úlohy a je také nejsložitější částí úlohy. Použitá metoda musí být schopna správně vyhodnotit údaje získané v předchozích částech úlohy, měla by být schopna řešit všechny přípustné situace, které na pozorované scéně mohou nastat, zároveň by měla být dostatečně robustní, aby se při nedostatku dat nedostala do nedefinovaného stavu.

Sesouhlasení objektů probíhá na základě podobnosti vlastností nalezených objektů. Necht' F_k označuje k -tý snímek a F_{k-1} snímek předcházející, $k = 2, 3, \dots, l$ kde l je celkový počet snímku zachycených při pozorování dané scény. Necht' $M_{k,i}$, $i = 1, 2, \dots, m$ je množina, jejíž členové vyjadřují jednotlivé vlastnosti i -tého objektu nalezeného v k -tém snímku, kde m označuje celkový počet objektů v tomto snímku a $M_{k-1,j}$, $j = 1, 2, \dots, n$ je množina, jejíž členové vyjadřují jednotlivé vlastnosti j -tého objektu nalezeného ve snímku F_{k-1} , kde n je celkový počet objektů nalezených v tomto snímku. Dále $f_E(M_{k,i}, M_{k-1,j})$ necht' je chybová funkce vyjadřující rozdíl mezi dvěma množinami vlastností. Pro každý objekt ze snímku F_k určíme množinu vlastností M . Toto opakujeme také pro všechny objekty nalezené ve snímku F_{k-1} . Poté pro každý objekt ze snímku F_k hledáme takový objekt ze snímku F_{k-1} , pro který je $f_E = \min$. Pokud je nalezená hodnota dostatečně malá, existuje velká pravděpodobnost, že se jedná o tytéž objekty.

2.4.1 Popis situací, které mohou nastat na pozorované scéně

Jak již bylo řečeno výše, metoda řešení sesouhlasení objektů by měla být navržena tak, aby byla schopna vyřešit všechny přípustné situace, které mohou na pozorované scéně nastat. Mezi tyto situace patří:

1. Pohybující se objekt je správně detekován v obou po sobě jdoucích snímcích, aniž by byl při extrakci objektů spojen s jiným objektem,

například z důvodu blízkého míjení se, nebo částečného překrytí. Toto je nejjednodušší možný případ.

2. Jeden, případně více pohybujících se objektů, zmizí v době mezi expozicemi dvou po sobě jdoucích snímků ze zorného pole kamery.
3. V době mezi expozicemi dvou po sobě jdoucích snímků se v zorném poli kamery objeví jeden, nebo více nových pohybujících se objektů.
4. Dva, případně více objektů jsou při extrakci objektů detekovány jako jeden objekt z důvodu těsného míjení se, částečného překrytí se, nebo kolize.
5. Dva, případně více objektů, které byly v předchozím snímku detekovány jako jeden objekt, jsou v aktuálním snímku detekovány jako předem určený vyšší počet objektů.
6. Objekty se mohou částečně nebo úplně překrývat.

2.4.2 Vlastnosti objektů používané k jejich sesouhlasení

Jako rozlišovací charakteristiky lze použít tyto vlastnosti objektů:

1. Poloha objektu – při dostatečně rychlém snímkování vzhledem k rychlosti pohybujících se objektů je důležitou vlastností při procesu sesouhlasení objektů vzdálenost těžišť objektů – čím jsou si těžiště objektů blíže, tím je větší pravděpodobnost, že těžiště patří témuž objektu.
2. Předpokládaná poloha objektu v následujícím, případně několika následujících snímcích - určí se z aktuální rychlosti objektu a zrychlení.
3. Barva objektu.
4. Disperze objektu.
5. Velikost plochy objektu promítnuté na pozorované scéně.
6. Struktura povrchu objektu.
7. Přímá korespondence bodů – body nalezené na určitém objektu ve snímku F_{k-1} jsou nalezeny na určitém objektu ve snímku F_k .

3. POPIS POUŽITÝCH METOD PRO NALEZENÍ OBJEKTU V OBRAZE, NALEZENÍ JEHO TRAJEKTORIE A PREDIKCE JEHO POLOHY

3.1 DETEKCE POHYBUJÍCÍCH SE OBJEKTŮ V ZORNÉM POLI KAMERY A ZJIŠTĚNÍ JEJICH POLOHY

Objekty jsou v zorném poli kamery detekovány za pomoci modelu statické části pozorované scény - pozadí. Nejprve je vytvořen co nejpravděpodobnější model pozadí. Jakmile je model pozadí vytvořen, jsou pohyblivé objekty detekovány pomocí rozdílového binárního snímku vytvořeného z aktuálního snímku pozorované scény a modelu pozadí.

3.1.1 Vytvoření modelu statické části pozorované scény - pozadí

Tvorbu pozadí lze rozdělit na dvě části:

1. Zjištění oblastí v obraze, ve kterých se pravděpodobně nachází pohybující se objekty.
2. Statistické zpracování získaných dat.

Zjištění oblastí v obraze, ve kterých se pravděpodobně nachází pohybující se objekty, probíhá pomocí vytvoření rozdílového binárního snímku mezi aktuálním snímkem a snímkem předcházejícím. Rozdílový binární snímek je vytvořen podle vztahu 2.1 s vhodně nastavenou hodnotou prahu. Problém nastává, pokud se v pozorované scéně pohybují objekty s homogenním povrchem. Pak v rozdílovém binárním snímku není informace o pohybujícím se objektu zaznamenána správně. Tento problém lze částečně eliminovat vhodným nastavením parametrů tvorby pozadí viz. dále.

Pro každou pozici obrazového elementu snímané scény je vytvořen akumulátor schopný uchovat určitý počet obrazových informací tohoto obrazového elementu z časově rozdílných snímků. Počet jasových hodnot, který je akumulátor schopný uchovat pro každou pozici obrazového elementu snímaného obrazu, určuje

šířku akumulátoru. Obrazové informace elementů z aktuálního snímku takových, na jejichž pozicích ve výše zmíněném rozdílovém binárním snímku není hodnota značící v tomto místě pohyb, jsou ukládány do tohoto akumulátoru. Poté, co jsou všechny akumulátory naplněné, je hodnota každého obrazového elementu pozadí určena jako statistický průměr příslušného akumulátoru. Pokud je povolena aktualizace pozadí a akumulátor už je naplněn, začnou se nově získané hodnoty pozadí ukládat na místa v akumulátoru, kde jsou nejstarší hodnoty pozadí. Přitom aktualizace může probíhat dvěma následujícími způsoby.

1. Rozdílový binární snímek, který určuje, jaké obrazové elementy aktuálního snímku scény se mají ukládat, je vypočítán jako rozdíl mezi aktuálním snímkem a vypočítaným modelem pozadí. Toto má za následek to, že pokud se některý objekt zastaví, bude stále detekován jako objekt, nestane se součástí pozadí. Nastavení tohoto způsobu aktualizace pozadí je vhodné pro snímání takové scény, kde se objekty často zastavují a mohou se zde postupně měnit světelné podmínky. Aktualizace pozadí zaručí, že měnící se světelné podmínky nebudou mít negativní vliv na celé pozorování.
2. Rozdílový binární snímek je vypočítáván mezi dvěma po sobě jdoucími snímky scény. Toto má za následek to, že pokud se některý objekt zastaví na určitou dobu, která závisí na rychlosti aktualizace pozadí, začne být po této době vnímán jako součást statické části pozorované scény. Tento způsob aktualizace pozadí je vhodný pro takové scény, kde se objekty pohybují dostatečnou rychlostí a nezastavují se v zorném poli kamery.

Parametry ovlivňující tvorbu pozadí jsou následující:

1. Šířka akumulátoru – čím je větší, tím je větší pravděpodobnost toho, že mediánová hodnota obrazové informace reprezentující obrazovou informaci pozadí bude správná, podaří se odfiltrovat ty hodnoty obrazové informace, které podle rozdílového binárního snímku do pozadí patřily, ve skutečnosti však patřily pohybujícímu se objektu s homogenním povrchem. Větší šířka akumulátoru na druhé straně přináší větší výpočetní náročnost a pomalou aktualizaci pozadí při jeho změně.

2. Rychlost učení – obrazové informace o pozadí nemusí být získávány v každém snímku, ale vždy po uplynutí určitého počtu snímků. Správné nastavení tohoto parametru pomáhá odstranit problém při tvorbě pozadí, pokud se ve scéně pohybují objekty s homogenním povrchem.
3. Aktualizace pozadí – zda se má pozadí po vytvoření dále aktualizovat. Pokud je aktualizace povolena, jsou nejstarší hodnoty obrazové informace v akumulátoru postupně přepisovány hodnotami novými. Rychlost aktualizace pozadí je ovlivněna předchozími dvěma parametry.

3.1.2 Extrakce pohybujících se objektů a určení jejich polohy

Extrakce pohybujících se objektů je provedena pomocí rozdílového binárního snímku, který je vytvořen z aktuálního snímku pozorované scény a aktuálního modelu pozadí. Výpočet rozdílového binárního snímku je závislý na tom, jaká máme k dispozici obrazová data.

Pokud aktuální snímek i vytvořený model pozadí jsou jednobarevné snímky s bitovou hloubkou 8 bitů, pak rozdílový jednobarevný 8 bitový binární snímek je vypočítán podle následujícího vztahu:

$$d(i, j) = \begin{cases} 255 & \text{pro } |f_1(i, j) - f_2(i, j)| \geq e \\ 0 & \text{pro } |f_1(i, j) - f_2(i, j)| < e \end{cases} \quad (3.1)$$

kde f_1 značí jasovou hodnotu obrazového elementu aktuálního snímku a f_2 značí jasovou hodnotu obrazového elementu pozadí.

Pokud aktuální snímek i vytvořený model pozadí jsou tříbarevné snímky, jejichž obrazová informace je reprezentována pomocí RGB barevného modelu, pak lze výpočet jednobarevného diferenčního snímku provést podle následujících vztahů:

$$\begin{aligned} d_R(i, j) &= f_{1R}(i, j) - f_{2R}(i, j) \\ d_G(i, j) &= f_{1G}(i, j) - f_{2G}(i, j) \\ d_B(i, j) &= f_{1B}(i, j) - f_{2B}(i, j) \end{aligned} \quad (3.2)$$

kde f_{1R}, f_{1G}, f_{1B} označují hodnoty složek jednotlivých barevných kanálů aktuálního vstupního snímku a f_{2R}, f_{2G}, f_{2B} označují hodnoty složek jednotlivých barevných kanálů aktuálního modelu pozadí.

$$d(i, j) = \begin{cases} 255 & \text{pro } \sqrt{(d_R(i, j))^2 + (d_G(i, j))^2 + (d_B(i, j))^2} \geq e \\ 0 & \text{pro } \sqrt{(d_R(i, j))^2 + (d_G(i, j))^2 + (d_B(i, j))^2} < e \end{cases} \quad (3.3)$$

Objekty se pak v rozdílovém binárním snímku zobrazí jako oblasti s nejvyšší hodnotou jasu, pozadí je naopak znázorněno obrazovými elementy s nejnižší hodnotou jasu.

Pro určení polohy jednotlivých objektů je použit algoritmus vyhledávání hranic. Tento algoritmus je popsán např. v [1]. Všechny elementy hranice každého objektu jsou uloženy. Poté je pro každý objekt pomocí jeho hranice určena velikost jeho plochy promítnuté na pozorovanou scénu a dále je pro každý objekt určeno jeho těžiště. Použitý způsob výpočtu těžiště je popsán v [1]. Velikost plochy každého objektu může být později použita při sesouhlasení objektů, jako jeden z příznaků.

3.1.3 Výhody extrakce objektů pomocí modelu statické části pozorované scény

Hlavní výhodou tohoto způsobu detekce objektů je, že nejsou třeba žádné apriorní informace o pohybujících se objektech, přičemž při splnění omezujících předpokladů uvedených níže, lze obrysy objektu získat s dostatečnou přesností. Na rozdíl od způsobu detekce objektů pomocí hledání hran pracuje tato metoda s dostatečnou přesností i v případě, kdy jsou hrany objektu nekvalitní například kvůli měkkým stínům.

3.1.4 Omezující předpoklady při extrakci objektů pomocí modelu statické části pozorované scény

Aby extrakce objektů pomocí modelu pozadí pracovala správně, je třeba, aby se v aktuálním snímku, od kterého je odečítáno pozadí, nevyskytovaly stíny. Pokud toto nebude dodrženo, bude za součást objektu nesprávně považován i jeho stín, který se pohybuje společně s objektem. Pokud toto nastane, bude nesprávně určena velikost plochy objektu promítnuté na pozorovanou scénu a také bude nepřesně určeno těžiště objektu. Problém se stíny objektu je ilustrován na obrázcích **Obr. 3.1** a **Obr.3.2**. Na obrázku **Obr. 3.1** je snímek pozorované scény. Na **Obr. 3.2** je rozdílový binární snímek vytvořený ze snímku na **Obr. 3.1** a odpovídajícího modelu pozadí. Je

velmi dobře patrné, že vyextrahované objekty na **Obr. 3.2** neodpovídají skutečným obrysům pohybujících se objektů. Kromě stínů je v tomto případě negativním jevem také odlesk modrého automobilu na bočním automobilu nad ním. Problém se stíny lze odstranit následujícími postupy:

- Vhodným osvětlením snímané scény – pomocí vhodného osvětlení vytvoříme difúzní světlo, takže pohyblivý objekt nebude vytvářet ostré stíny. Měkké stíny lze do určité míry odfiltrovat vhodným nastavením prahu použitým při výpočtu binárního rozdílového snímku.
- Algoritmy pro odstraňování stínů – každý vstupní snímek bude nejprve zpracován těmito algoritmy, které zajistí odstranění stínů z tohoto snímku. Algoritmy odstranění stínů nejsou předmětem zájmu této bakalářské práce, proto nebudou dále diskutovány.

Dalším omezujícím předpokladem pro to, aby tato metoda pracovala správně, je předpoklad, že v době tvorby pozadí (ne aktualizace) se ve snímané scéně nevyskytují takové objekty, které se nepohybují a začnou se pohybovat až po vytvoření pozadí. Pokud by tato situace nastala, byly by nesprávně detekovány objekty v místech, ve kterých se nacházel dříve statický objekt. S ohledem na to, zda je použita aktualizace pozadí či nikoliv, by byl tento objekt detekován nesprávně po celou dobu snímání, případně až do uplynutí určitého času, v závislosti na rychlosti aktualizace pozadí.

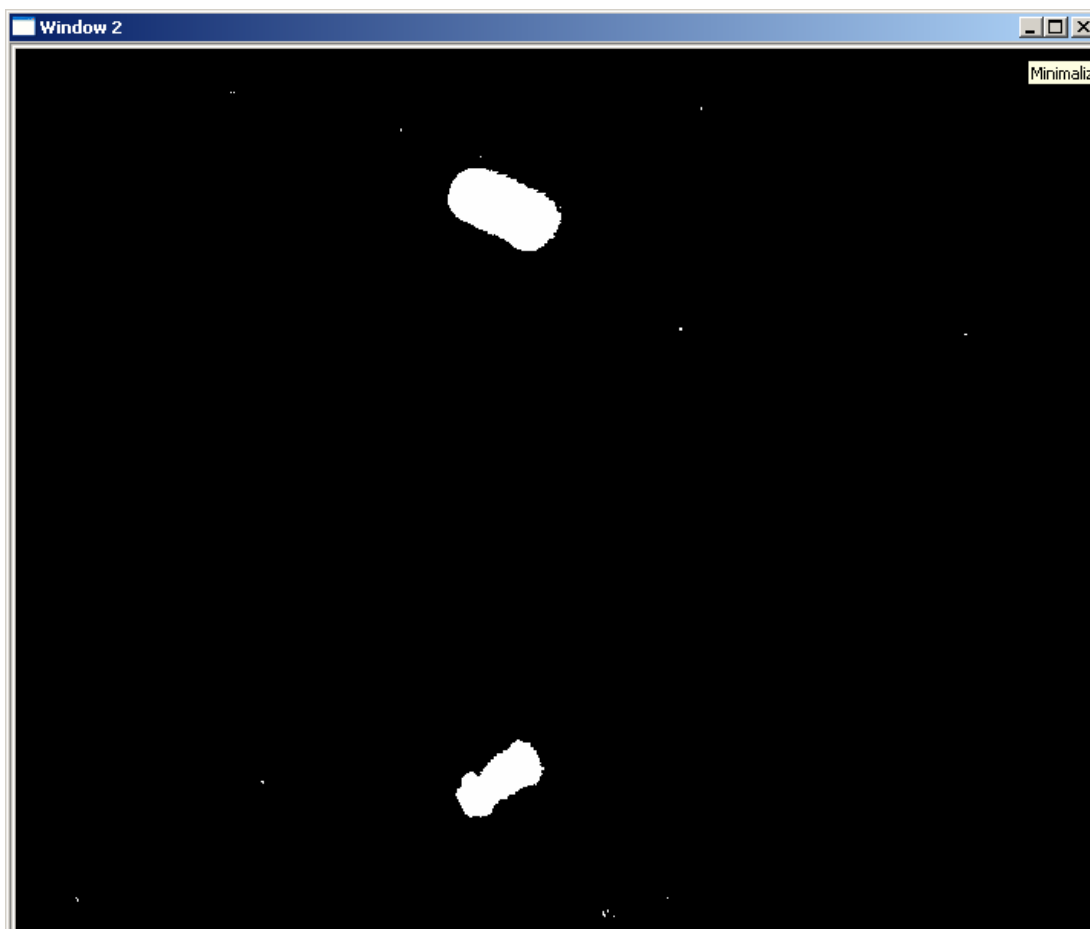
Obecně lze říci, že tato metoda není vhodná pro použití s takovou scénou, ve které se vyskytuje velký počet objektů, které je možno po většinu doby snímání považovat za součást statického pozadí, ovšem náhodně dochází k jejich přemístění. V praxi by tato metoda například velmi špatně pracovala, pokud by snímanou scénou byla znečištěná ulice s velkým množstvím odpadků a pohyb osob na této scéně by byl nepravidelný s častými zastávkami. Naopak dobrých výsledků by mohla dosáhnout například při použití ve vstupních halách různých budov. Ukázka dobré extrakce objektů je ukázána na **Obr. 3.3**.



Obr. 3.1: K problémům se stíny při extrakci objektů, snímek scény



Obr. 3.2: Problém stínů při extrakci objektů



Obr. 3.3: Kvalitně vyextrahované objekty

3.2 POUŽITÍ OPTICKÉHO TOKU PRO NALEZENÍ KORESPONDENCE VÝZNAMNÝCH BODŮ POHYBUJÍCÍCH SE OBJEKTŮ

Pomocí optického toku lze získat nejkomplexnější informace o pohybu na pozorované scéně. Ve své práci využívám optického toku pro nalezení přímé korespondence mezi dvěma body ve snímcích F_{k-1} a F_k .

3.2.1 Použitý způsob výpočtu optického toku

Pro výpočet optického toku jsem ve svém programu použil knihovní funkci *cvCalcOpticalFlowPyrLK* z knihovny Open Source Computer Vision Library.

Tato funkce počítá optický tok na základě metody Lucas Kanade. Výpočet optického toku pomocí metody Lucas Kanade vychází stejně jako ostatní metody

z předpokladu zachování intenzity. Tento předpoklad je matematicky vyjádřen ve vztahu (2.4). Také tato metoda zavádí chybový výraz.

Tento výraz obsahuje požadavek co nejlepšího splnění rovnice (2.5) a také požadavek na hladkost optického toku. Pro každý obrazový element obrazu je tento chybový výraz definován jako:

$$\rho_{LK} = \sum_{x \in \Omega} W^2(x) (\nabla I(x, t) \cdot v + I_t(x, t))^2 \quad (3.4)$$

Pro nalezení minima derivujeme funkce podle jednotlivých složek rychlosti:

$$\frac{\partial \rho_{LK}}{\partial u} = 2 \sum_{x \in \Omega} I_x(x) W^2(x) [I_x(x) u(x) v + I_t(x)] = 0 \quad (3.5)$$

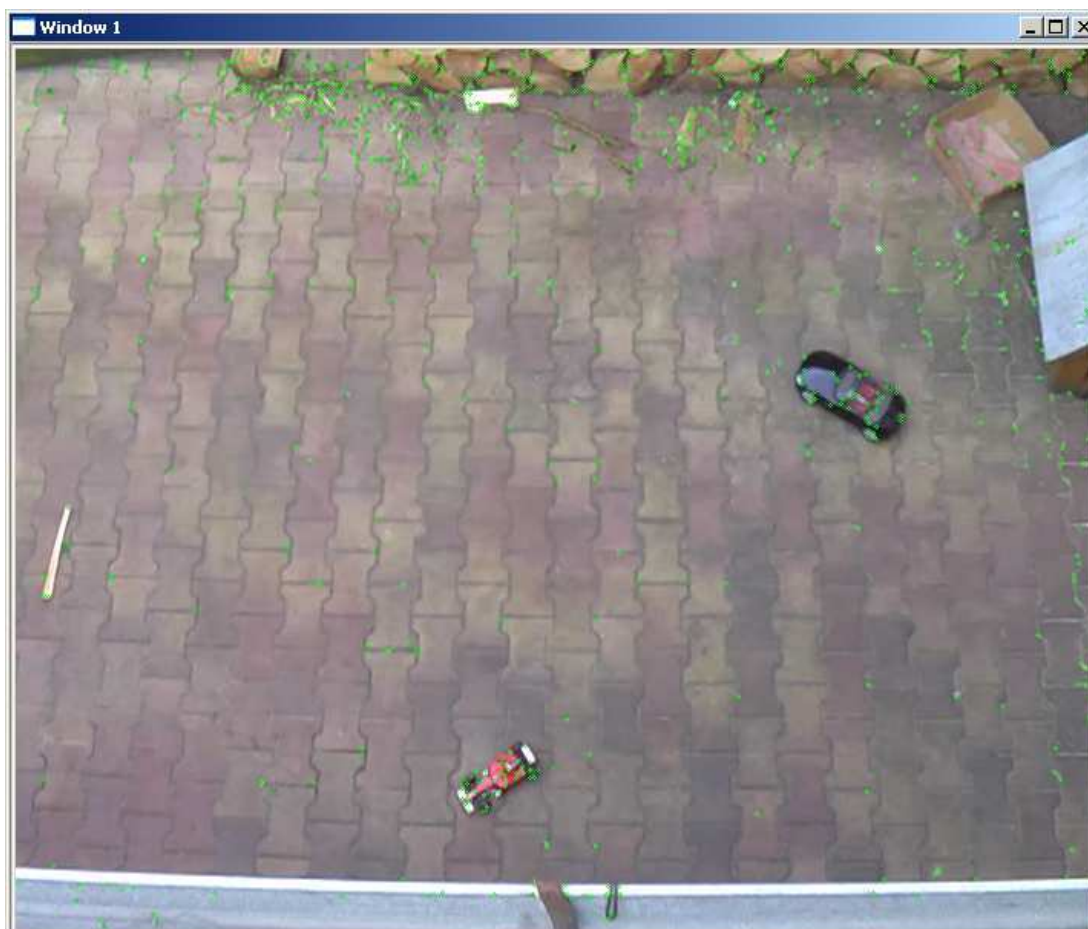
$$\frac{\partial \rho_{LK}}{\partial v} = 2 \sum_{x \in \Omega} I_y(x) W^2(x) [I_x(x) u + I_y(x) v + I_t(x)] = 0 \quad (3.6)$$

Úpravou dostaneme:

$$\sum_{x \in \Omega} W^2(x) I_x^2(x) u + \sum_{x \in \Omega} W^2(x) I_x(x) I_y(x) v + \sum_{x \in \Omega} W^2(x) I_x(x) I_t(x) = 0 \quad (3.7)$$

$$\sum_{x \in \Omega} W^2(x) I_y(x) I_x(x) u + \sum_{x \in \Omega} W^2(x) I_y^2(x) v + \sum_{x \in \Omega} W^2(x) I_y(x) I_t(x) = 0 \quad (3.8)$$

Vstupem do funkce není pouze sekvence dvou po sobě jdoucích snímků, ale také významné body v prvním snímku, jejichž nová poloha je hledána ve snímku následujícím. Výstupem funkce není vektorové pole obsahující vektor pohybu pro každý obrazový element prvního snímku, ale údaj o poloze významných bodů z prvního snímku ve druhém snímku.



Obr. 3.4: Významné body nalezené pomocí funkce *cvGoodFeatureToTrack*

Pro hledání významných bodů, které jsou pak vstupem do funkce počítající optický tok, jsem ve svém programu použil knihovní funkci *cvGoodFeatureToTrack* z knihovny Open Source Computer Vision Library. Tato funkce vyhledává takové obrazové elementy, které jsou vhodné ke sledování v sekvenci obrazů. Tato funkce umožňuje vyhledávání vhodných bodů ovlivnit pomocí několika parametrů. Nejdůležitějším parametrem je minimální kvalita vyhledávaného významného bodu. Velikost této kvality je určena výrazem, který lze najít v [3]. Dalším parametrem, který můžeme zvolit, je minimální vzdálenost nalezených bodů. Ukázka nalezených významných bodů je na **Obr. 3.4**. Správné zvolení parametrů velmi ovlivňuje přesnost následujícího výpočtu optického toku. Pokud zvolíme malou minimální kvalitu hledaných významných bodů, funkce sice vyhledá velké množství těchto bodů, ale následující výpočet optického toku bude nepřesný – poloha mnoha bodů

v novém snímku nebude určena správně. Naopak pokud se zvolí příliš velká minimální kvalita významného bodu, může dojít k tomu, že v oblasti, kde se nachází pohyblivý objekt, nebude nalezen žádný významný bod a výpočet tedy nebude umožněn. Podrobnější informace o obou výše zmíněných funkcích lze nalézt v [3].

Sesouhlasení pohybujících se objektů je pomocí výpočtu optického toku prováděno následujícím způsobem. Nechť snímky BS_{k-1} a BS_k jsou po sobě jdoucí binární rozdílové snímky obsahující extrahované pohybující se objekty. Ve snímku F_{k-1} jsou nalezeny všechny významné body takové, které náleží pohybujícím se objektům, přičemž je rozlišeno, kterým objektům jednotlivé body náleží. Pomocí výše popsaného výpočtu optického toku je zjištěna nová poloha těchto bodů. Pokud je chyba této nové polohy menší než určitá zvolená prahová hodnota, je pomocí snímku BS_k nalezeno, který objekt na snímku F_k tento bod obsahuje. Pokud nalezneme takovýchto bodů pro určité dva objekty na snímcích F_{k-1} a F_k dostatečný počet, lze provést sesouhlasení.

Přímé korespondence bodů lze také využít, pokud se dva, případně více objektů těsně míjí, nebo kolidují, takže při jejich detekci dostaneme objekt jediný. V tomto případě je postup následující. Označme množinu bodů nalezených pomocí funkce *cvGoodFeaturesToTrack* jako PP a množinu bodů na snímku F_k nalezených pomocí funkce *cvCalcOpticalFlowPyrLK* jako korespondenční body k bodům z množiny PP označme jako NP . Z posledního snímku F_{k-1} před spojením extrahovaných objektů se uloží všechny významné body PP patřící jednotlivým objektům. Jsou nalezeny jejich nové souřadnice NP na snímku F_k . Tyto nové souřadnice jsou uloženy. V dalším kroku se hledají významné body PP ve snímku F_k . Poté se hledá, kde se souřadnice některých těchto bodů shodují se souřadnicemi některých bodů z množiny NP . Pokud ano, hledá se poloha bodů PP ze snímku F_k ve snímku F_{k+1} .

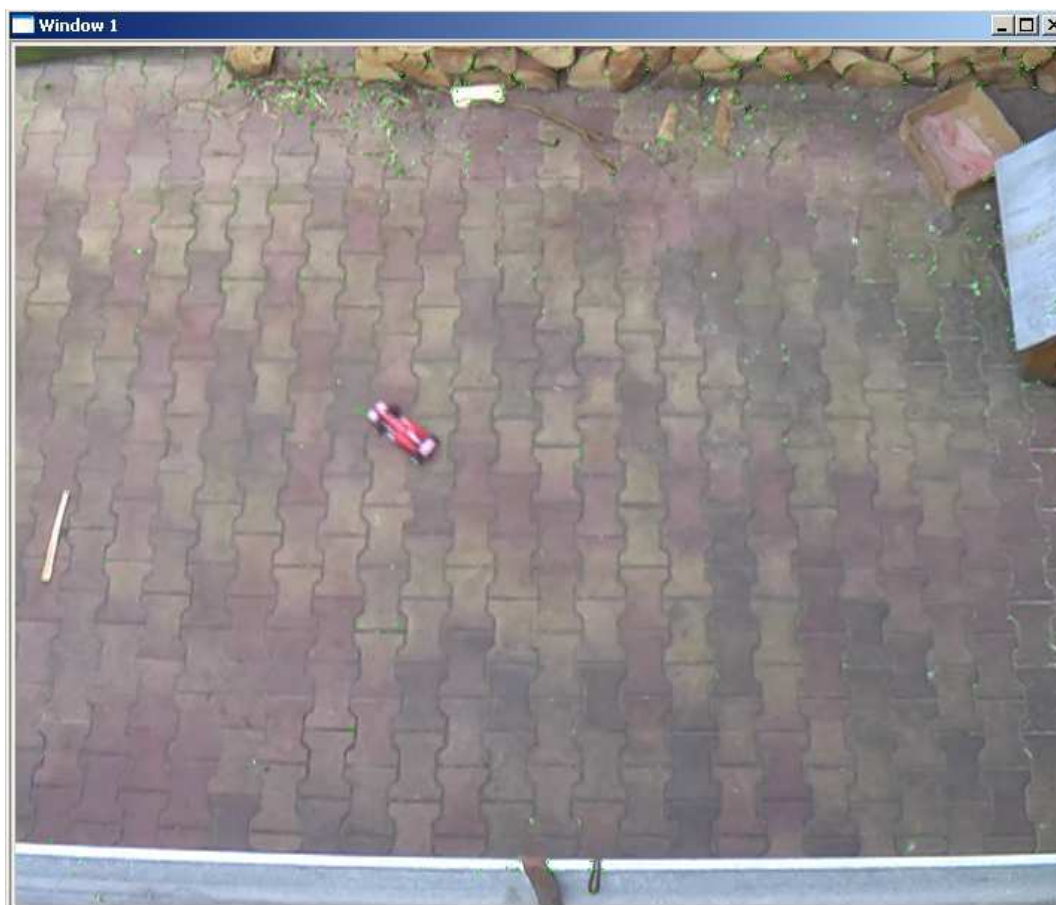
Tento způsob je velmi závislý na tom, jaká je kvalita snímku, především jak moc ostře jsou zachyceny pohyblivé objekty. Pokud jsou objekty rozmazané a pohybují se rychle, pak počet bodů, jejichž poloha je sledována od začátku spojení objektů, velmi rychle klesá a při delším spojení objektů jsou všechny tyto body ztraceny. Nalezená korespondence bodů je ukázána na **Obr. 3.5**.

3.2.2 Praktické problémy při výpočtu optického toku v souvislosti s použitým snímacím zařízením

K nasnímání pokusných vzorků byla použita kamera Panasonic SDR-H250EP. Při jejím použití nastává problém při snímání rychlejšího pohybu. Expozice trvá určitý čas, a pokud se objekty pohybují dostatečně rychle, jsou v natočeném obraze relativně rozmazané. Další faktorem znehodnocujícím výslednou kvalitu snímků je způsob tvorby výsledného snímku, který je skládán ze dvou půl-snímků. Kvůli tomuto způsobu je pak v případě rychlého pohybu tělesa počet nalezených významných bodů v místě, kde se objekt nachází, nedostatečný. Problém je ilustrován na obrázku **Obr. 3.6**.



Obr. 3.5: Korespondence bodů



Obr. 3.6: Rozmazaný pohybující se objekt při rychlejšímu pohybu

3.3 POUŽITÍ KALMANOVA FILTRU PRO PREDIKCI POLOHY POHYBUJÍCÍCH SE OBJEKTŮ

Pro určení polohy v zorném poli kamery zavedme dvourozměrný souřadnicový systém s osami x a y . Pohyb objektu lze specifikovat polohou určenou souřadnicemi $x(t)$ a $y(t)$, rychlostí ve směru osy x $v_x(t)$ a rychlostí ve směru osy y $v_y(t)$ a zrychlením ve směru osy x $a_x(t)$ a zrychlením ve směru osy y $a_y(t)$. Tyto stavové proměnné spolu souvisejí následujícími vztahy:

$$v_x(t) = \dot{x}(t) = \frac{dx(t)}{dt} \quad (3.9)$$

$$v_y(t) = \dot{y}(t) = \frac{dy(t)}{dt} \quad (3.10)$$

$$a_x(t) = \dot{v}_x(t) = \frac{dv_x(t)}{dt} \quad (3.11)$$

$$a_y(t) = \dot{v}_y(t) = \frac{dv_y(t)}{dt} \quad (3.12)$$

Naměřené údaje obsahují méně informací než stavový vektor. Při sledování objektu máme k dispozici jen informace o jeho souřadnicích. Necht' X označuje stavový vektor Kalmanova filtru, A matici přechodu, H matici transformující změřené údaje o poloze do stavového vektoru naměřených hodnot, P kovarianční matici, Q manévrovací matici, R matici chyb měření. Za použití vztahů (3.9), (3.10), (3.11) a (3.12) lze odvodit jednotlivé matice Kalmanova filtru.

Tyto matice vypadají následujícím způsobem:

$$X = \begin{bmatrix} x(t) \\ v_x(t) \\ a_x(t) \\ y(t) \\ v_y(t) \\ a_y(t) \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & T & \frac{T^2}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & T & \frac{T^2}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$P = \begin{bmatrix} r_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

$$R = \begin{vmatrix} r_{11} & 0 \\ 0 & r_{22} \end{vmatrix} \quad (3.17)$$

$$Q = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \delta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \delta \end{vmatrix} \quad (3.18)$$

kde T je perioda vzorkování, v této úloze bude T rovno 1. Odvození těchto matic a podrobné informace o výpočtu lze nalézt v [5] a [6]. Při inicializaci je třeba nastavit prvky kovarianční matice λ_1 a λ_2 na dostatečně velkou hodnotu, protože neznáme chování systému a je tedy třeba počítat s dostatečně velkou nejistotou předpovědi. Prvky matice R , určující nepřesnost měření musí být nastaveny s ohledem na nepřesnost měření těžiště, která může být způsobena náhodným šumem, který lehce změní hranice objektu, aniž by k této změně ve skutečnosti došlo. Hodnota δ v manévrovací matici musí být dostatečně velká na to, aby dokázala postihnout možné zrychlení pohyblivého objektu během doby mezi dvěma snímky.



Obr. 3.7: Predikce polohy pohybujícího se objektu (vyznačeno modrou tečkou)

Při pozorování může nastat situace, kdy nejsou k dispozici údaje o poloze. V tomto případě je pak třeba nastavit koeficienty Kalmanova zisku na nulu. Kalmanův filtr pak provede extrapolaci stavového vektoru a kovarianční matice, přičemž manévrovací šum nebude použit [5]. Extrapolací se snižuje pravděpodobnost správné předpovědi, což se projeví zvyšováním hodnot prvků kovarianční matice. Ukázka předpovědi následující polohy těžiště objektu je ukázána na obrázku **Obr. 3.7**.

3.4 ŘEŠENÍ SESOUHLASENÍ OBJEKTŮ

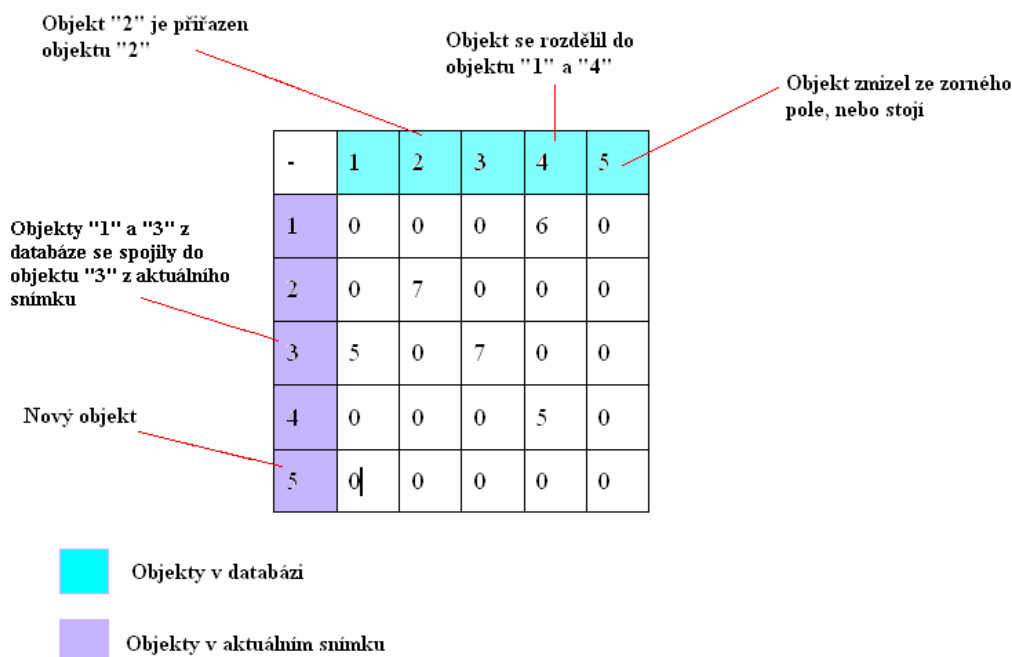
Objekty jsou sesouhlaseny na základě podobnosti vlastností, které je charakterizují. Existuje databáze, ve které jsou uchovávány všechny objekty z minulého snímku, které byly nalezeny v zorném poli, případně objekty, které nalezeny nebyly, ale algoritmem sesouhlasení bylo rozhodnuto, že se na pozorované scéně nachází (toto může nastat například z důvodu překrytí se objektů, jejich těsného míjení nebo kolize, kdy je více objektů detekováno jako jeden objekt). Hledání hypotéz řešících sesouhlasení objektů a rozhodování o správnosti těchto hypotéz je prováděno pomocí rozhodovací matice D .

Tato matice má tolik sloupců, kolik se nachází objektů v databázi. Počet řádků této matice je určen počtem objektů nalezených v aktuálním snímku F_k .

Sesouhlasení lze rozdělit na dva hlavní kroky:

1. V tomto kroku je pro každý i -tý objekt z aktuálního snímku vyhodnocen rozdíl mezi tímto objektem a j -tým objektem v databázi z hlediska každé vlastnosti, která je použita k charakteristice objektů za účelem sesouhlasení. Pokud je rozdíl pro určitý objekt z aktuálního snímku nejmenší vzhledem k určitému objektu v databázi a zároveň splňuje kritérium největšího přípustného rozdílu, je matice prvek $D(i,j)$ matice D inkrementován o hodnotu, která odpovídá důležitosti podobnosti dané vlastnosti.
2. Pomocí prohledávání matice se provádí přiřazení objektů ze snímku F_k objektům z databáze.

Na obrázku 3.8 je znázorněna rozhodovací matice



Obrázek 3.8: Rozhodovací matice

Z obrázku je dobře patrné, jak se projeví jednotlivé situace v pozorované scéně do rozhodovací matice.

1. Jednoznačné přiřazení objektu ze snímku F_k objektu v databázi se v matici D projeví tak, že na odpovídajícím řádku matice bude pouze jedna hodnota dostatečně velká pro přiřazení.
2. Spojení dvou, případně více objektů, z databáze do jednoho objektu ve snímku F_k je v matici D indikováno tak, že na jednom řádku se objeví dvě, případně více hodnot dostatečně velkých pro přiřazení.
3. Rozdělení objektu z databáze do dvou, případně více objektu ve snímku F_k je v matici D signalizováno dvěma, případně více hodnotami dostačujícími pro přiřazení v jednom sloupci.

4. Zmizení objektu ze zorného pole je v rozhodovací matici signalizováno nepřítomností hodnoty dostatečné pro přiřazení v daném sloupci.
5. Nový objekt, který se objevil v zorném poli kamery, se v matici D projeví tak, že na daném řádku matice nebude žádná hodnota dostatečná pro přiřazení.

Na **Obr. 3.9** je znázorněna matice pro situaci na obrázku **Obr. 3.10**.

Pro rozlišení pohybujících se objektů jsem použil následující charakteristiky:

1. Velikost objektů.
2. Vzdálenost těžišť objektů.
3. Předpokládaná poloha objektů.

Dále pro sesouhlasení objektů používám optický tok, který určuje přímou korespondenci významných bodů pohybujícího se objektu. Jeho použití je podrobně popsáno v kapitole 3.1. V souvislosti s rozhodovací maticí je třeba uvést velkou výhodu použití této metody. Tuto výhodu představuje snadná a poměrně spolehlivá detekce spojení a rozpojení pohybujících se objektů. Při spojení dvou, nebo více objektů do jednoho, najdeme v nově vzniklém objektu body ze všech spojených objektů (pokud nedojde k úplnému zakrytí některého objektu), naopak při rozpojení objektů do více objektů najdeme v těchto nově vzniklých objektech body ze zaniklého rozpadlého objektu. Pokud tedy ohodnotíme tyto případy dostatečně velkou hodnotou v rozhodovací matici, budeme schopni správně detekovat spojení a rozpojení objektů.

Pro popis rozhodovacího mechanismu zavedme následující pojmy:

1. Gathered child – jedná se o objekt, který vznikne spojením jednoho, nebo více objektů. Obsahuje v sobě ukazatele (identifikátory) na objekty v něm spojené.
2. Gathered – objekt, který se spojil s jiným objektem za vzniku objektu typu gathered child.

Rozhodovací mechanismus je na **Obr. 3.11**, na **Obr. 3.12** a na **Obr. 3.13**

	6	11

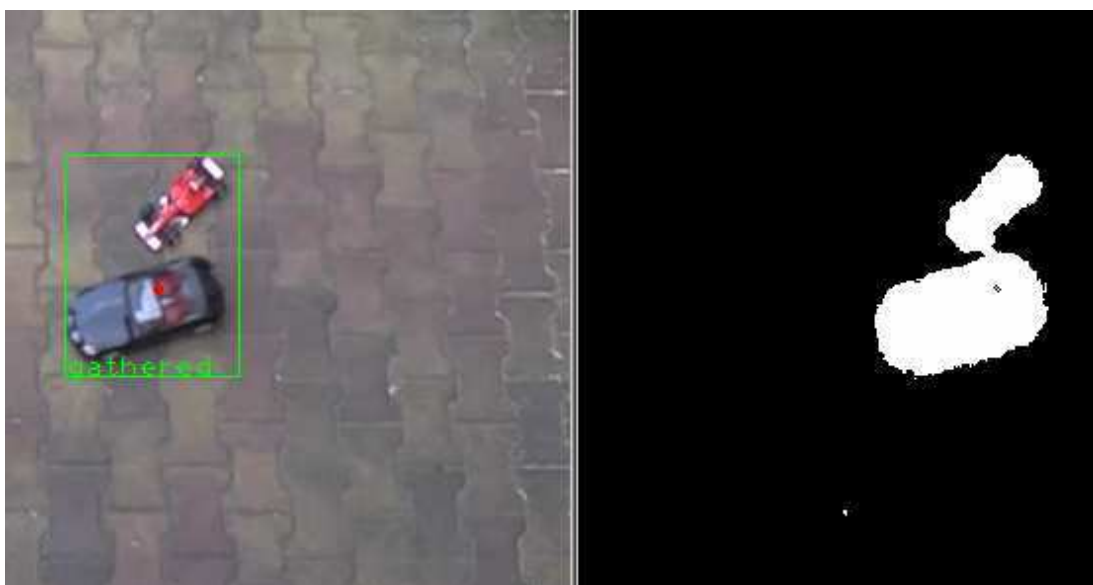


Objekty v aktuálním snímku



Objekty v databázi

Obr. 3.9: Rozhodovací matice pro situaci z obrázku 3.10



Obr. 3.10: Spojení dvou objektů

BLOK Č. 1
HLEDÁNÍ JEDNOZNAČNÝCH PŘÍŘAZENÍ A
SPOJENÍ VÍCE OBJEKTŮ DO JEDNOHO

Postupně prohledávej jednotlivé řádky rozhodovací matice
příčemž:

Pokud na jednom řádku neexistuje hodnota dostatečná pro
přiřazení, založ nový objekt.

Pokud na jednom řádku existuje jedna hodnota dostatečná pro
přiřazení, proved' přiřazení.

Pokud na jednom řádku existují dvě, nebo více hodnot
dostatečných pro přiřazení, založ nový objekt typu child a ulož
do něj identifikátory (ukazatele) na všechny spojené objekty.
Tyto objekty označ jako gathered (ne gathered child) objekty.



BLOK Č. 2
HLEDÁNÍ ROZPOJENÍ OBJEKTŮ

Postupně prohledávej jednotlivé řádky rozhodovací matice
příčemž:

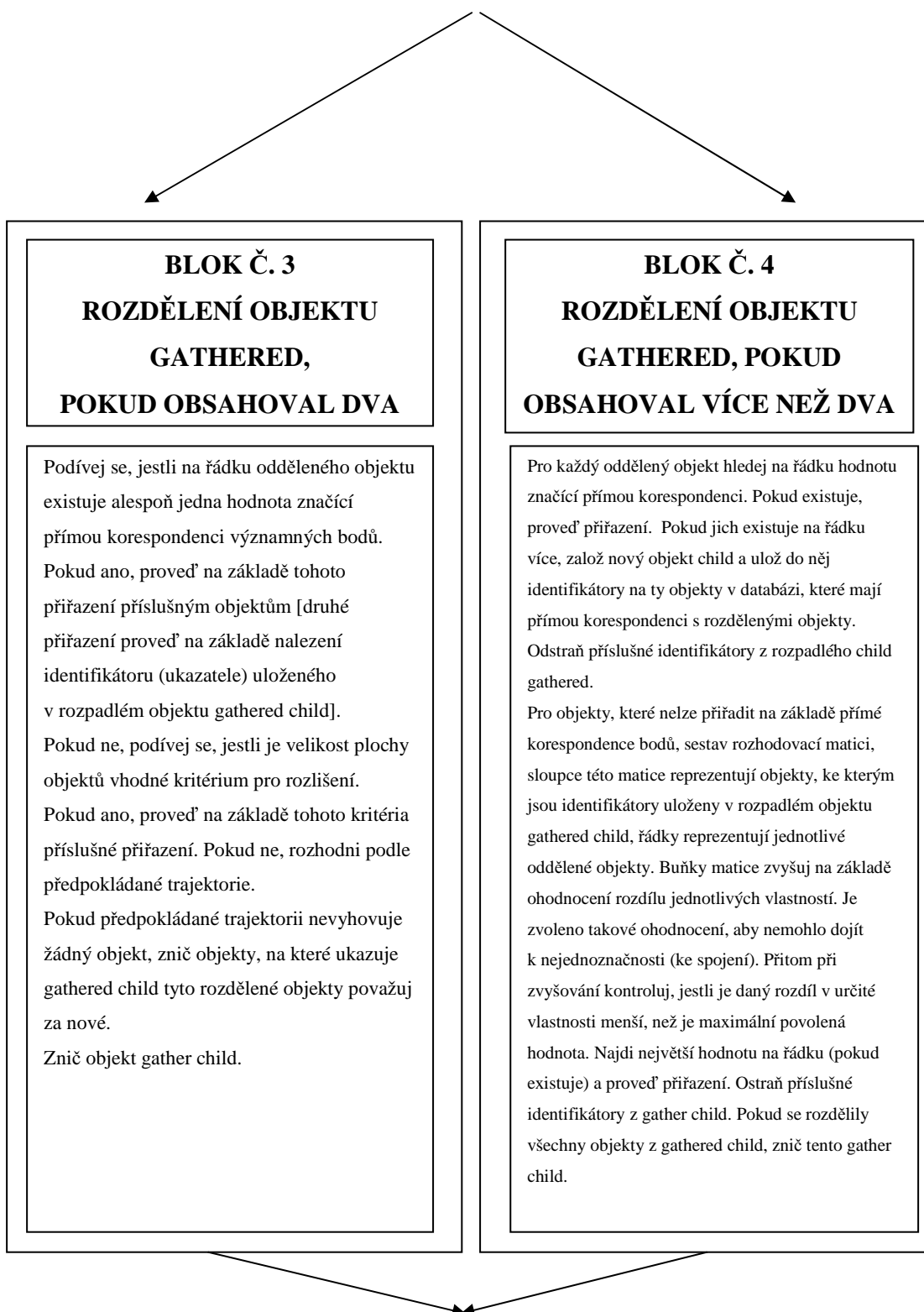
Pokud v jednom sloupci existuje více hodnot vhodných pro
přiřazení proved':

Není-li objekt v databázi (ten, který se rozdělil, tedy ten, který je
reprezentován prohledávaným sloupcem) typu gathered child,
považuj rozdělené objekty za nové objekty. Rozpadlý objekt
zaniká.

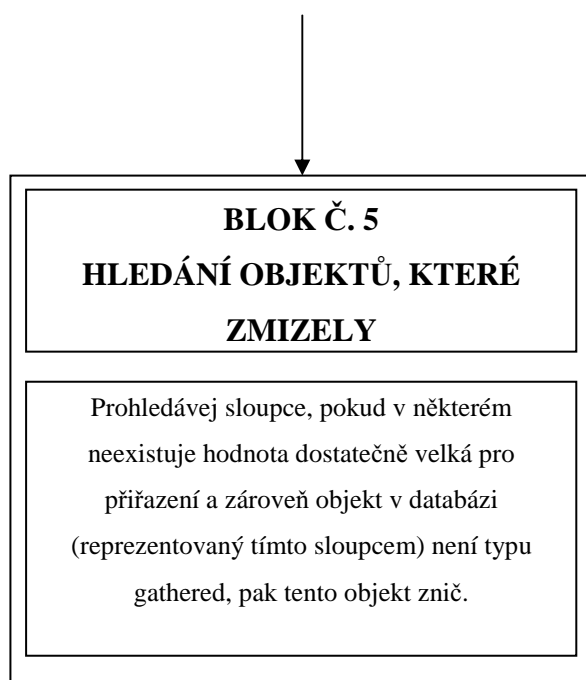
Je-li objekt v databázi (ten, který se rozdělil) typu gathered,
podívej se, jestli jsou v gathered spojeny dva, a nebo více objektů,
a podle zjištění proved' buď BLOK Č. 3, nebo BLOK Č. 4.



Obr. 3.11:Rozhodovací mechanismus



Obr. 3.12: Rozhodovací mechanismus



Obr. 3.13: Rozhodovací mechanismus

4. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Funkčnost použitých metod byla ověřena vytvořeným softwarem a vhodně nasnímanou scénou s pohyblivými objekty. Výsledky potvrdily funkčnost těchto metod. Metody byly schopny správného jednoznačného sesouhlasení objektů, byly schopny správně detekovat zmizení pohyblivého se objektu ze zorného pole kamery, byly schopny správně detekce nového objektu v zorném poli kamery, dále byly schopny správně detekce spojení dvou objektů do jednoho objektu a také detekce rozpojení toho objektu do původních objektů, přičemž byly schopny rozpojené objekty správně přiřadit objektům před spojením.

Při jednoznačném sesouhlasení objektů byla nejvíce používaným kritériem metoda přímé korespondence bodů a také předpokládaná budoucí poloha objektu. Při detekci spojení objektů a rozpojení objektů se výhradně uplatnila metoda přímé korespondence významných bodů. Pro sesouhlasení rozpojených objektů s objekty, které se předtím spojily do rozpojeného objektu, byla na nasnímaném pokusném videu jednou využita metoda přímé korespondence bodů, dvakrát byla jako rozlišovací charakteristika pro sesouhlasení objektů využita velikost ploch objektů.

Je nutné podotknout, že výborná funkčnost metod byla zajištěna především tím, že při nasnímání scény byly dodrženy všechny omezující podmínky a také tím, že byly správně nastaveny všechny volitelné parametry. Při špatném nastavení volitelných parametrů, nebo nevhodné scéně by metody nepracovaly přesně, případně by úplně selhaly.

5. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit metody pro detekci pohyblivých objektů v zorném poli kamery, zaznamenání jejich trajektorie a predikci jejich polohy. Za vhodných podmínek jsou tyto metody schopny detekovat objekty v zorném poli kamery, zaznamenat jejich polohu – přiřadit jim správnou trajektorii a predikovat jejich polohu. Ověření funkčnosti vytvořených metod bylo provedeno za pomoci vytvořeného software, který tyto metody implementuje. Nasnímané scény byly nasnímány vzhledem k omezujícím podmínkám.

Pro sesouhlasení pohybujících se objektů jsou nejdůležitější charakteristiky objektů, podle kterých jsou objekty od sebe navzájem rozpoznávány. Pro každý typ scény jsou vhodné jiné charakteristiky. Pokud se v dané scéně vyskytují dvě stejně velké koule, nebude vhodnou rozlišovací vlastností plocha pohybujícího se objektu promítnutá do pozorované scény. Když se na dané scéně budou vyskytovat dva červené automobily, nebude vhodnou rozlišovací vlastností barva pohybujících se objektů. Pokud se objekty spojí a po rozdělení nebudou pokračovat v předpokládaném směru, selže sesouhlasení objektů podle předpokládané následující polohy. Pro dosažení co nejvyšší přesnosti sesouhlasení je tedy zapotřebí použít co nejvíce rozlišovacích charakteristik.

Ve své práci jsem se rozhodl využívat dvou charakteristik objektů – velikosti objektů a předpokládané polohy objektů. Dále pro sesouhlasení objektů využívám přímé korespondence významných bodů objektu pomocí výpočtu optického toku.

Za nejdůležitější prvek při sesouhlasení považuji právě metodu přímé korespondence významných bodů objektu. Tato metoda totiž funguje velice spolehlivě jednak při jednoznačném přiřazení objektů a dále velmi spolehlivě detekuje splynutí objektů a jejich rozpojení. Výhody použití tohoto způsobu sesouhlasení objektů se v mé práci projeví. Lze předpokládat, že při použití kvalitnější kamery by tato metoda byla ještě účinnější. Byly by totiž k dispozici ostřejší snímky, kde by byl větší počet kvalitních významných bodů, které tato metoda vyžaduje. Nevýhodou této metody je především její velká výpočetní náročnost.

Velikost plochy objektu promítnuté na pozorovanou scénu byla také důležitou rozhodovací vlastností. Nasnímané pokusné video totiž obsahovalo dva objekty s velmi rozdílnou velikostí plochy. Pokud nebylo možné rozhodnout na základě metody přímé korespondence bodů, byla k sesouhlasení využita tato charakteristika.

Sesouhlasení podle předpokládané polohy má využití především tehdy, kdy se dva, nebo více objektů překryjí a není možné je rozlišit například pomocí velikosti jejich ploch. V tomto případě jsou totiž ztraceny sledované významné body, takže nelze použít ani metodu přímé korespondence bodů. Lze konstatovat, že Kalmanův filtr je vhodný nástroj pro predikci polohy objektů.

Pro vytváření a ověřování hypotéz jsem použil rozhodovací matici. Hledání všech přípustných hypotéz v této matici vede na poměrně složitý rozhodovací algoritmus.

Ve své práci jsem nepoužil všechny metody a vlastnosti pro rozlišení pohybujících se objektů (například jsem jako rozlišovací vlastnost nepoužil barvu pohybujícího se objektu). Použil jsem takové vlastnosti, které byly vhodné pro danou nasnímanou scénu. Všechny požadované úkoly jsou použité metody schopny vykonávat. Lze tedy říci, že zadání mé práce se podařilo splnit.

6. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HLAVÁČ, V. - ŠONKA, M. Počítačové vidění. Praha: Grada, 1992. 272 s.
ISBN 80-85424-67-3
- [2] HORÁK, K. - KALOVÁ, I. - PETYOVSKÝ, P. - RICHTER, M. Počítačové
vidění. VUT Brno. Skriptum. 2007
- [3] Open Source Computer Vision Library Reference manual [online], Ver. 001,
[cit. 2008-12-8]. Dostupný z < [http://worldlibrary.net/eBooks/Give-
Away/Technical_eBooks/OpenCVReferenceManual.pdf](http://worldlibrary.net/eBooks/Give-Away/Technical_eBooks/OpenCVReferenceManual.pdf) >
- [4] COHEN, I.- MEDIONI, G. Detecting and Tracking Moving Objects for Video
Surveillance [online] [cit. 2009-5-8]. Dostupný z
<<http://iris.usc.edu/~icohen/pdf/cvpr99.pdf>>
- [5] HRNČÍŘ, Z. Optický tok v obrazových datech živých buněk. Brno, 2006. 51 s.
Diplomová práce na Fakultě informatiky Masarykovy univerzity. Vedoucí
diplomové práce Mgr. Vladimír Ulman
- [6] WELCH, G. - BISHOP, Gary. An Introduction to the Kalman Filter [online],
poslední úpravy 30. srpna 2001, [cit. 2009-4-30]. Dostupný z
<<http://www.cs.unc.edu/~tracker/ref/s2001/kalman/>>
- [7] BRUHN, A. - WEICKERT, J. - SCHNOOR, CH. Lucas/Kanade Meets
Horn/Schunck: Combining Local and Global Optic Flow Methods [online] [cit.
2009-4-29]. Dostupný z <[http://www.mia.uni-saarland.de/Publications/bruhn-
ijcv05c.pdf](http://www.mia.uni-saarland.de/Publications/bruhn-ijcv05c.pdf)>
- [8] HONZÍK, P. Strojové učení. VUT Brno. Skriptum. 2006
- [9] DAVIES, E.R. Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. 2nd
Edition. San Diego: Academic Press, 1997. ISBN 0-12-206092

7. SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Popis
F_{k-1}	předchozí snímek
F_k	aktuální snímek
F_{k+1}	následující snímek
BS	binární rozdílový snímek vypočítaný ze snímku scény a modelu pozadí
e	prahová hodnota
M	množina vlastností pohybujícího se objektu
D	rozhodovací matice
PP	množina významných bodů, které jsou nalezeny pomocí funkce <i>cvGoodFeatureToTrack</i>
NP	množina nalezených korespondenčních bodů k bodům z množiny PP určena pomocí funkce <i>cvCalcOpticalFlowPyrLK</i>
Symboly	Popis
∂	parciální derivace
\sum_i^N	suma

8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Popis ovládání programu

Příloha A

Popis ovládání programu

Pro ověření vytvořených metod byl vytvořen program a nasnímaná vhodná scéna s pohybujícími se objekty.

Program se spouští z příkazové řádky, jako parametr se zadává název videa s nasnímanou scénou. Po spuštění se objeví konzolové okno a okno *Window 1*, které je zatím prázdné.

Ovládání programu se provádí následujícími klávesami:

- **R** – touto klávesou se program uvede do režimu run, je otevřen videosoubor a je vykonáváno sledování pohyblivých objektů
- **Q** – touto klávesou se program ukončí
- **S** – stiskem této klávesy se program uvede do režimu *nastavení*, popis režimu nastavení a seznam příkazů je níže

Popis režimu *nastavení*:

V režimu nastavení se v konzolovém okně vypíše následující výzva:

Zadejte příkaz a parametr příkazu

Pokud zadáme platný příkaz, do konzolového okna se vypíše:

Parametr xxxxxxx byl změněn na hodnotu: xx

Pokud je zadaný příkaz neplatný, do konzolového okna se vypíše:

Neplatný příkaz

Zadejte příkaz a parametr příkazu

Z režimu nastavení se lze dostat následujícím příkazem:

exit

Obecný formát příkazů je následující:

příkaz hodnota

např: *bg_renew 0*

Seznam parametrů:

1. bg_renew – určuje, zda se má pozadí aktualizovat, pokud je hodnota rovna nule, neaktualizuje se, je doporučeno nechat defaultní nastavení, při kterém se pozadí neaktualizuje, kvůli rychlosti programu
2. bg_speed – určuje rychlost učení pozadí, parametrem je počet snímků, které se mají vynechat mezi dvěma voláními funkce pro tvorbu pozadí
3. pousouvani – parametr tohoto příkazu určuje čas v milisekundách, po který program na začátku svého cyklu čeká na vstup od klávesnice, pokud je nastaven na hodnotu 0, každý cyklus je spuštěn vstupem z klávesnice – krokování
4. accum_width – určuje šířky akumulátoru pro tvorbu pozadí, doporučená hodnota je: 10 – 20